



Het construeren op stijfheid (vervolg)

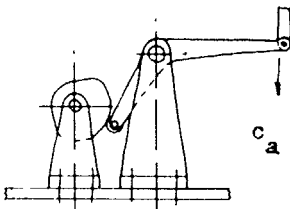
Constructies voor het nauwkeurig bewegen en positioneren (2)

M.P. Koster, P.C.J.N. Rosielle en E.A.G. Reker

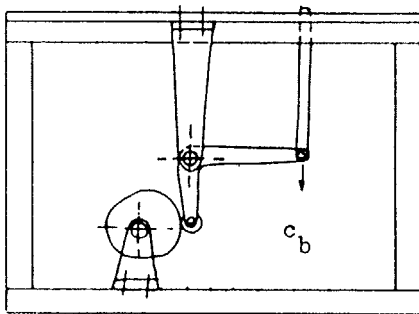
Voorbeelden van het brengen van stijfheid in constructies

Verkorting krachtweg

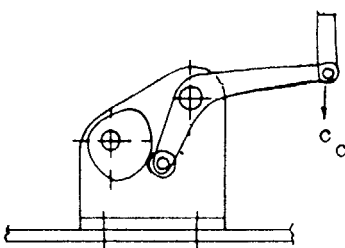
De figuren 12a en b geven twee voorbeelden van veel voorkomende constructies met grote krachtweg, waardoor de constructie aan stijfheid inboet (het zogenaamde palmbomeneffect: de lagerstoelen van nokkenas en hefboom veren onder belasting uit elkaar). Figuur 12c geeft een oplossing met een plaat die de krachtweg verkleint: $c_c >> c_a >> c_b$.



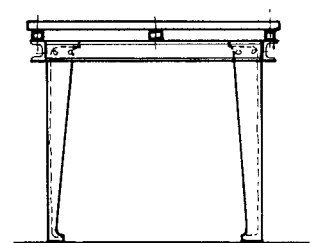
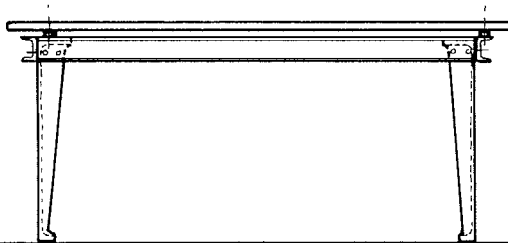
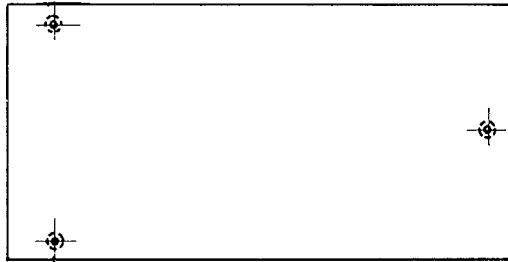
Figuur 12 a



Figuur 12 b



Figuur 12 c



Figuur 13

Stijf freem met slappe poten

Het tafelblad (van figuur 13) zelf wordt vaak gebruikt om de poten een verticale stand voor te schrijven. Dit betekent dat het blad grote koppels krijgt wanneer iemand tegen de poten stoot (accu-wagens!, materiaalbakken en dergelijke) of wanneer het tafelblad door verwarming uitzet.

Deze uitwendige koppels kan men voorkomen door een statisch bepaalde driepuntsoplegging van het tafelblad zoals bijvoorbeeld is aangegeven in figuur 13.

In het algemeen kan men stellen dat portalen, bruggen en kranen, die een constant gevecht moeten leveren met de zwaartekracht, terecht 'vanuit de grond' zijn geconstrueerd.

Bij machines, motoren, gereedschapswerktuigen, meetopstellingen, enz. is echter de krachtsoverdracht tussen machinedelen onderling veel groter dan het eigengewicht en is vooral de relatieve plaatsnauwkeurigheid van de delen onderling meestal van veel groter belang dan de positie ten opzichte van de omringende wereld.

Krachtdoorleiding en stijfheid is dan primair een *interne aangelegenheid*; de afsteuning naar de aarde is bijzaak. Zulke constructies moet men ontwerpen alsof ze vrij in de ruimte zouden komen te zweven; bijvoorbeeld symmetrisch om de hartlijn.

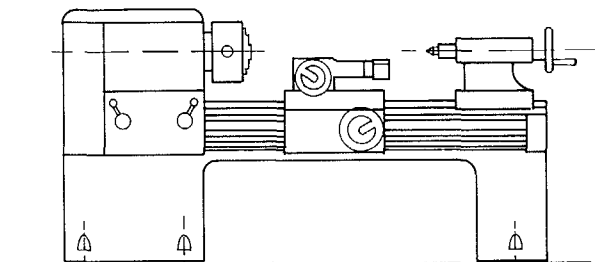
De feitelijke afsteuning naar de grond volgt dan wel via geschikt gekozen pootjes of kastjes met de elektrische circuits of gereedschapsladdjes.

Het vertrouwde beeld van de draaibank van figuur 14a raakt blijvend beschadigd nadat men figuur 14b leerde appreciëren ondanks de daarbij ten tonele gevoerde keukenstoelen.

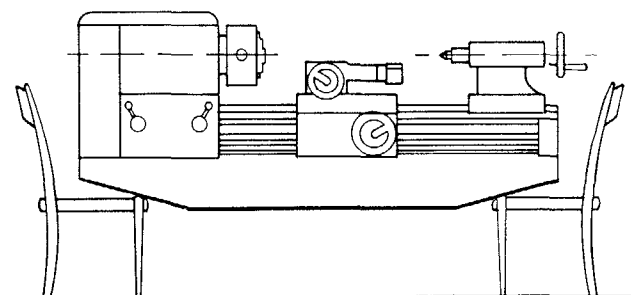
Overigens is in het voorgaande kracht-doorleiding en stijfheid (bepaling van de relatieve positie) in één adem genoemd en betrokken gedacht op dezelfde machinedelen. Het kan echter uitermate nuttig zijn om de functies krachtdoorleiding en positiebepaling te scheiden en toe te bedelen aan verschillende machinedelen. Een mooi voorbeeld is de May-pers, schematisch aangeduid in figuur 15. Bij de traditionele 'open' (van drie kanten toegankelijke) metaalwarenpersen moet het open 'C'-freem zowel de perskrachten doorleiden als de correcte positie van onderstempel ten opzichte van bovenstempel waarborgen.

Dit leidde tot zware stijve freems met desondanks toch relatief grote uitbuiging en hoekverdraaiing, hetgeen stempelslijtage en kans op verkanting van het stempel met breuk tot gevolg had.

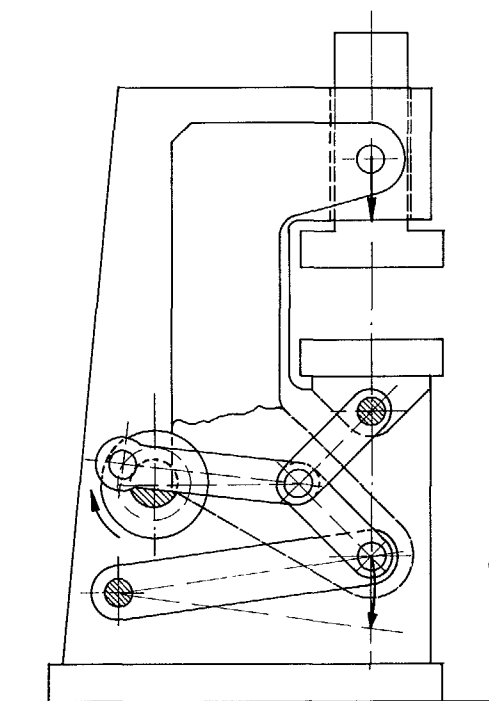
Als reactie daarop ontstond het streven naar stempels met eigen stempelhuizen



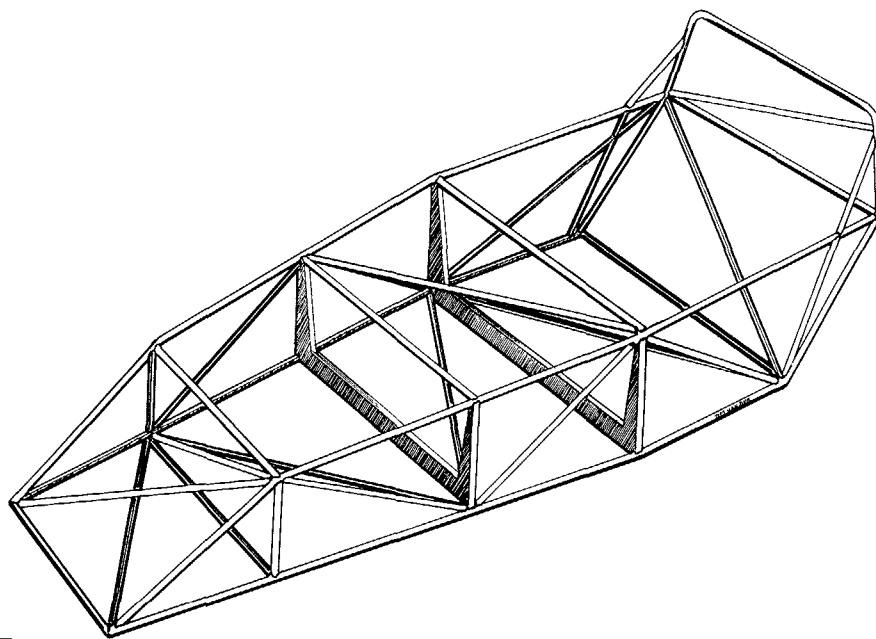
Figuur 14 a



Figuur 14 b



Figuur 15



Figuur 16

en geleidedoppen. Die konden de relatieve hoekverdraaiing van het freem niet voorkomen en de hele constructie bleef dubieus, overbepaald en een bron van zorg.

In de May-pers was het freem met de geleiding van het bovenstempel in principe onbelast en onvervormd; de perskracht werd overgebracht door een C-vormig juk terweerszijden, ruw gebrand uit dikke plaat.

Vakwerk freems

Stijve maar toch lichte freemconstructies en dergelijke kan men principieel op twee manieren maken. In de eerste plaats met (buigingsvrije) trek- en drukstaven, zoals ruimtelijke

vakwerkconstructies uit buis voor autofrems, zie figuur 16.

Kokerfreems

Een andere manier voor het maken van een stijf freem is het werken met afschuiving in (bij voorkeur relatief dunne) *niet* op buiging belaste plaat. Naast de haast onovertroffen stijfheid 'in het vlak' van een vlakke plaat kan men ook gebruik maken van de afschuifstijfheid door middel van dunwandige kokerbalken als torsiestijf profiel, bijvoorbeeld om de twee zijwanden van een freem te koppelen. Torsiestijfheidsberekeningen zijn gebaseerd op de aanname dat vlakke doorsneden vlak blijven en niet van vorm veranderen. Het zonder meer vlak houden van zo'n kokerprofieldoorsnede is niet

gemakkelijk. Wanneer men echter twee doorsneden verhindert van vorm te veranderen is het doel bereikt: er moeten dus twee tussen- of eindschotten worden aangebracht. Bij archiefkasten en zelfs de deuren ervan, bij stalen bureaustellen en laden en in het algemeen bij alle plaatconstructies met een 'open doos' karakter kan men desgewenst een grote torsiestijfheid inbouwen door een (vaak reeds aanwezig) uit omgezette randen verkregen kokerprofiel in zijn eindvlakken te fixeren (al was het maar door de diagonalen vast te leggen door vier lasjes op de hoekpunten). Het gebruikelijke kantoormeubilair lijkt in dezen niet altijd voldoende doordacht.

Figuur 17 geeft een voorbeeld van zo'n koker: het freem, verkregen door twee

Constructies voor het nauwkeurig bewegen en positioneren (2)

gezamenlijk bewerkte dunne staalplaten vast te bouten op de als flenzen uitgevoerde eindschotten van de kokerbalk, bezit de uitzonderlijke stijfheid vereist voor een goed dynamisch gedrag van de geschetste nokmechanismen. De niet zelfinstellende lagerhuizen van de nokas ontleen hun hoekinformatie aan de stijve nokas zelf en kunnen in dit opzicht de dunne freemplates gemakkelijk hun 'wil' opleggen.

Krachtsinleiding in kokers

De krachtsinleiding bij torsiestijve kokers kan gemakkelijk onjuist worden geconstrueerd en daarmee kan de stijfheid verloren gaan.

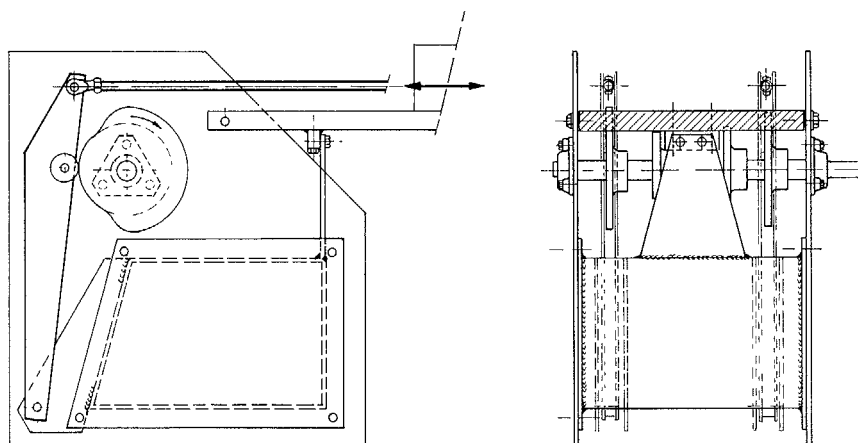
Men realiseert zich dat bij het in figuur 18 weergegeven deel van de dwarsdoorsnede van een kokerprofiel alleen krachten die gericht zijn naar het punt A werkelijk 'stijf', dus zonder buiging van de plaatwanden, worden ingeleid.

Men moet de koker dus aanpakken bij een punt respectievelijk een lijn die materieel helemaal niet aanwezig is!

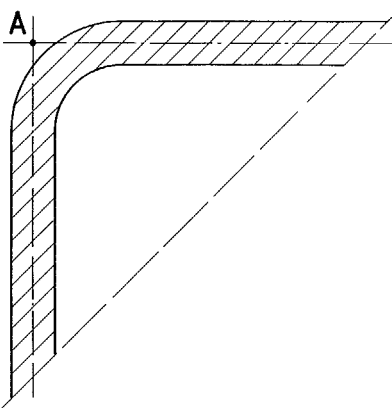
De oplossing is: de kracht uitwendig opsplitsen in componenten gericht volgens de kokerwanden en die elk voor zich inleiden in de betrokken kokerwand of in een verlenging of uitstekende flap ervan, of in een speciaal voor dat doel aangebrachte eind- of tussenflens.

Wil men een star 'blok' bevestigen aan een kokerprofiel (of omgekeerd) dan kan men het best systematisch nagaan hoe en welke vrijheidsgraden vastgelegd zijn.

In figuur 19a zijn z en y door een goed



Figuur 17



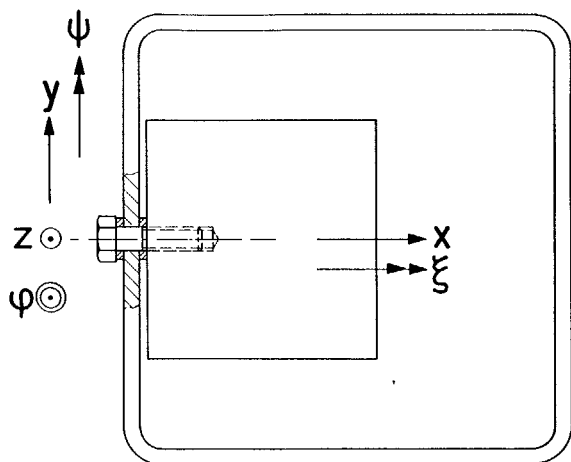
Figuur 18

aangehaalde bout (op ringen) stijf vastgelegd. Maar x en de kantelhoeken φ en ψ zijn praktisch vrij: het is slechts de

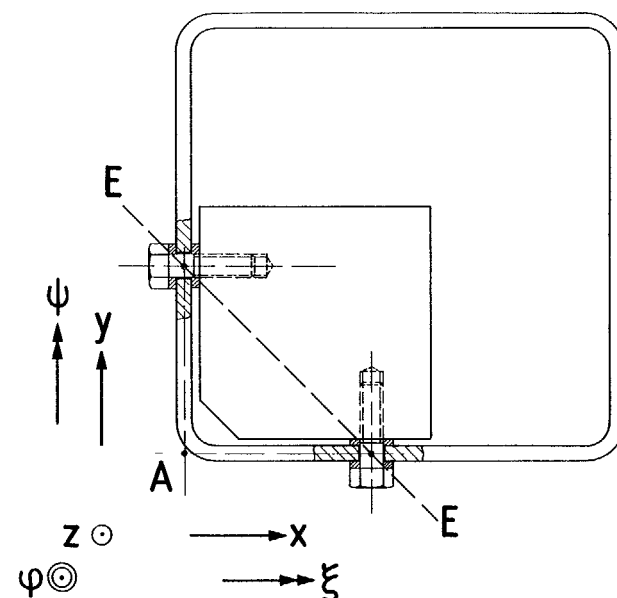
buigstijfheid van de plaat die hen enigszins beïnvloedt. De hoekstijfheid ζ lijkt gevoelsmatig ook stijf vastgelegd, zij het dan met een heel beperkte belastbaarheid gezien de kleine straal waarop de wrijvingskrachten op de ring werken. In veel gevallen zal men grotere waarborgen tegen slip wensen! Ook de stijfheid valt echter tegen.

In figuur 19b heeft het blok echt de ribbe A te pakken: in dit punt liggen x en y vast. Rotatie φ om A is mogelijk. De z ligt vast in de lijn EE door de twee wrijvingsvlakken; de rotaties ψ en ζ lijken in principe stijf vastgelegd.

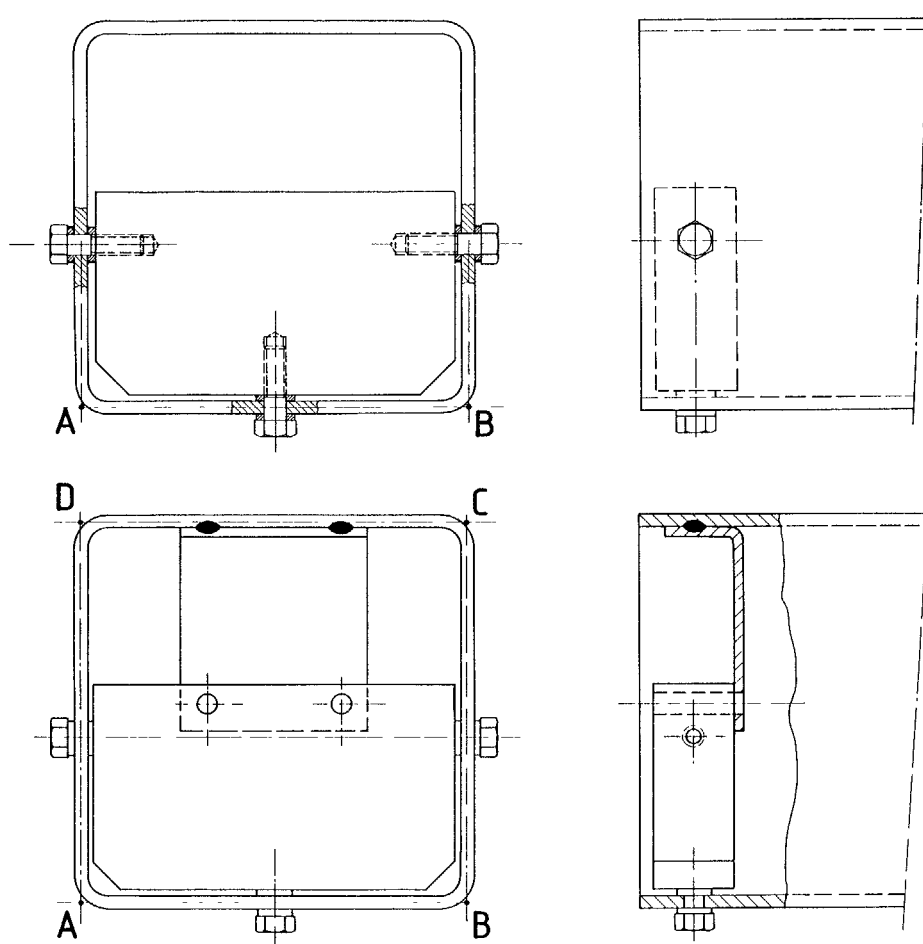
Dat valt echter zwaar tegen: een gekoppelde rotatie om de lijn EE (leidend tot verandering van z ter plaatse A) is mogelijk tegen een relatief lage stijfheid en met maar weinig weerstand.



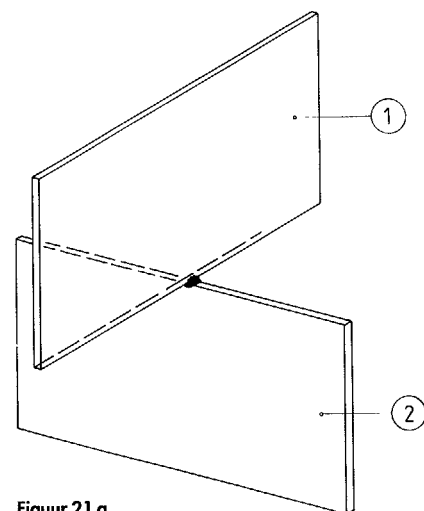
Figuur 19a



Figuur 19b



Figuur 19 c



Figuur 21 a

De oplossing ligt in het verhinderen van de rotatie om EE.

Figuur 19c voldoet hieraan. het blok heeft de punten A en B te pakken, kan noch transleren noch roteren en de wrijvingskrachten hebben tegen elke rotatie een grote hefboomsarm.

Stijve koker als spuitgietproduct

Figuur 20 geeft twee lossende dunwandige spuitgietstukken als alternatieven voor hetzelfde doel: namelijk een freem met onder andere een beschermde kamer K en vier steunpunten S.

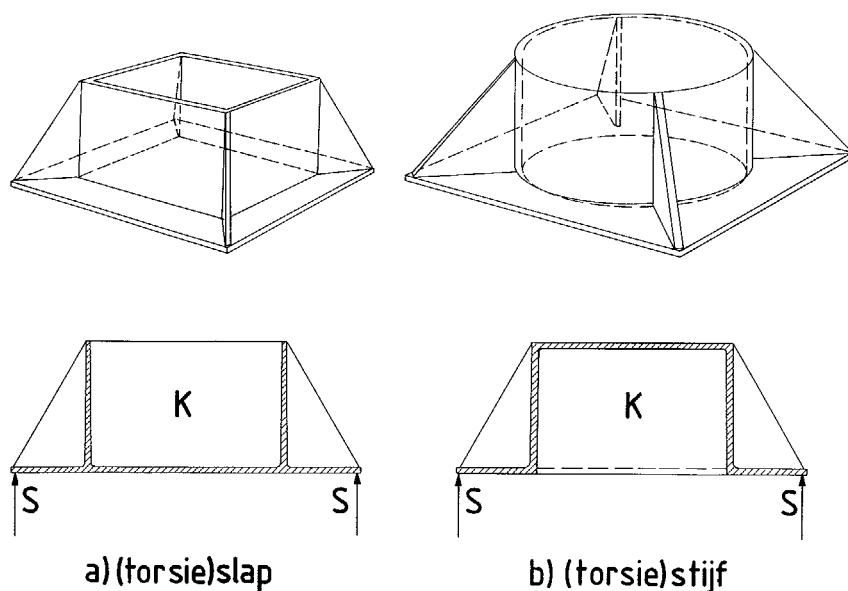
De uitvoering a is relatief slap, zowel met vierkante als met ronde kamer. De uitvoering b is veel stijver: de kamer vormt een torsiestijf profiel (rond zowel als vierkant) met twee eindschotten. Het ene schot is 'inwendig' en het andere 'uitwendig' maar elk is stijf genoeg om in zijn vlak de doorsnede van het kamerprofiel vast te leggen.

De termen stijf en slap kan men zo interpreteren: als men dunnere wanddiktes kiest, daalt de (buig)stijfheid van uitvoering a met de derde macht van de wanddikte en de (torsie)stijfheid van uitvoering b slechts evenredig met de wanddikte.

Hoe dunner de wand of de plaat hoe signifikanter dus het verschil. Eventueel denke men zich (of make men) modellen uit tekenpapier.

Plaatconstructies

Uit oogpunt van stijfheid en sterkte is de constructie volgens figuur 21a natuurlijk een uitermate slecht en die volgens figuur 21b al evenzeer. Toch komt men deze laatste vaak tegen (compartimente-

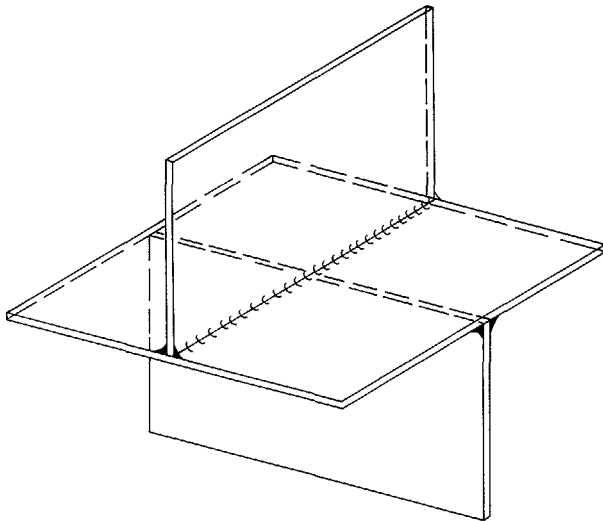


a) (torsie)slap

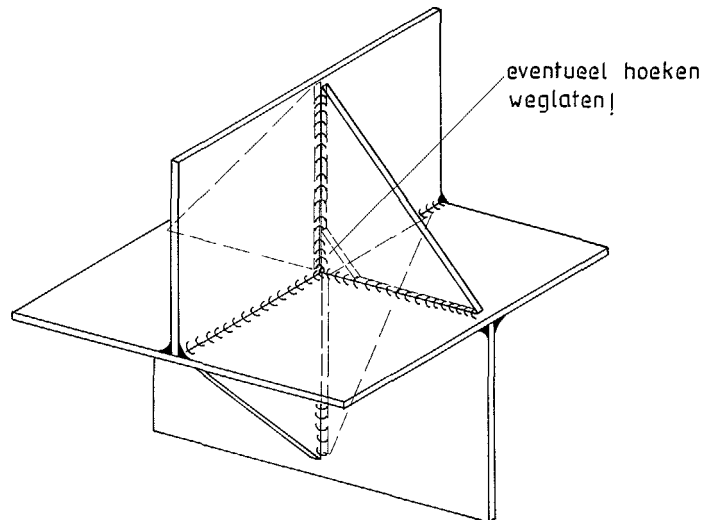
b) (torsie)stijf

Figuur 20

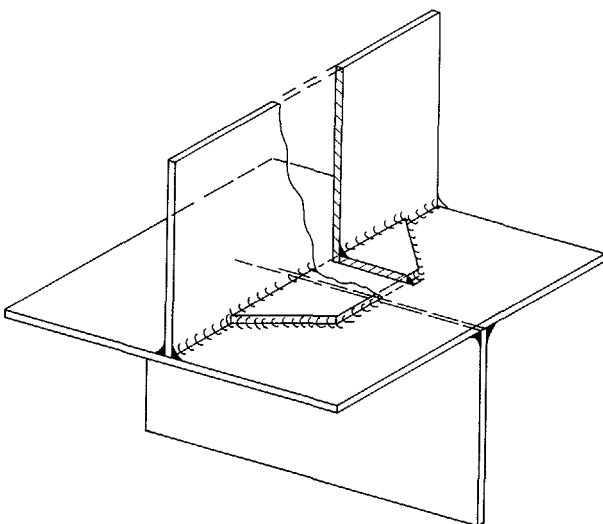
Constructies voor het nauwkeurig bewegen en positioneren (2)



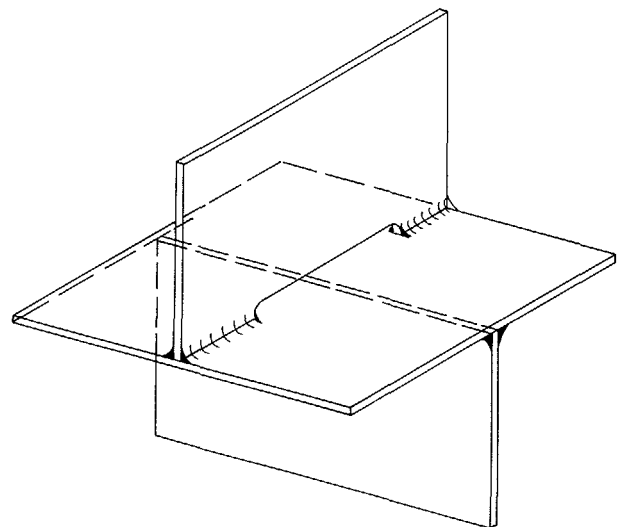
Figuur 21 b



Figuur 21 c



Figuur 21 d



Figuur 21 e

ring en vrije hutindeling tussen scheepskedden).

Als de platen 1 en 2 elkaar iets moeten 'vertellen' moet dat via voorzieningen in de geest van figuur 21c, hoewel de uitstekende driehoeken onpraktisch zijn. Mogen de platen 1 en 2 elkaar in z-richting juist *niet* de wet voorschrijven terwijl de relatie van elk van hen met de tussenplaat (in x-, respectievelijk y-richting) onverkort gehandhaafd moet blijven, dan ligt een uitvoering als in figuur 21d voor de hand met figuur 21e als goedkoper maar niet 'waterdicht' alternatief.

De constructie van figuur 22a is wellicht in te richten als nestkastje maar is als middel tot krachtleiding in de pijpkolom bepaald weerzinwekkend. De uitvoering van figuur 22b lijkt op minder

opvallende wijze nog steeds aan hetzelfde euvel: de krachten worden niet ingeleid in de pijp maar in een toevallig plaatstuk daarvan, en dat moet via zijn buigstijfheid trachten aansluiting te vinden bij de eigenlijke pijp met zijn grote stijfheid en belastbaarheid. Die buigstijfheid is evenredig met de plaatdikte tot de 3^e macht en het ontwerp valt dan ook direct door de mand als men het in gedachten (of als fröbel-model!) uitvoert in heel dunne plaat of in tekenpapier. Bij een goede plaatconstructie is de stijfheid immers evenredig met de plaatdikte zelf; ook in papier is die nog 'stijf' mits onder de knikgrens belast.

Zo'n niet voldoende doordacht detail kan aanleiding zijn tot grote schade. Zo was bijvoorbeeld een aangelaste hydrofoonsteun — uiteraard via een vermoei-

ingsscheur in de pijpwand — aanleiding tot de ondergang van het Noorse drijvend off-shore-hoteleiland Alexander Kielland met vele opvarenden.

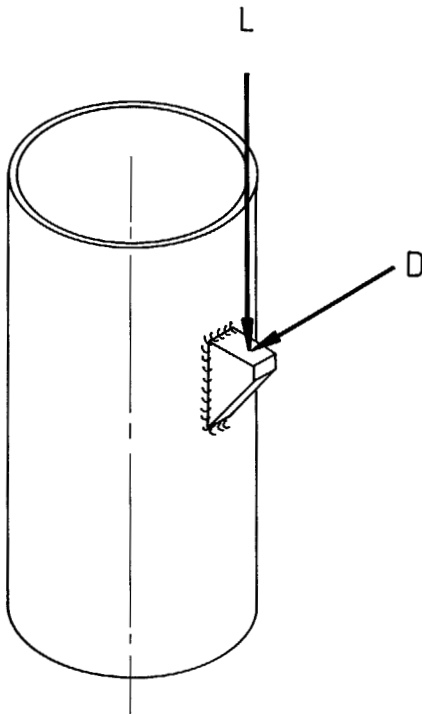
De constructie van figuur 22c is fundamenteel beter, zij het dan dat men zich moet afvragen hoe je hier de corrosiebescherming kunt garanderen. Vierkante pijp of koker is gevoeliger voor aanvaring en knik maar toch handiger als er dit soort constructies aan vastgelast moeten worden.

De constructie van figuur 22d geeft het meest overtuigend aan wat ontbreekt in het ontwerp van figuur 22a. Hier wordt de pijp aangesproken op de wijze waarop pijp benaderd moet worden: 'weet het ijzer aan de achterkant dat er van voren een langskracht L wordt ingeleid?' Moet er een dwarskracht D ingeleid wor-

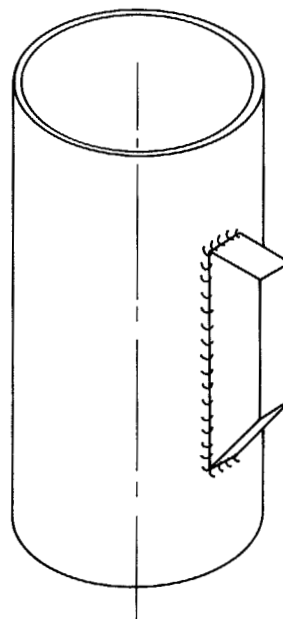
den dan moet de pijp doorkruist worden door horizontale platen (loodrecht op pijpas). De combinatie L + D vraagt dus een (gesloten) koker, aan beide enden rondom vastgelast aan de binnenkant van de pijp.

'Constructies voor het nauwkeurig bewegen en positioneren' is een selectie uit de verzameling constructieprincipes die op initiatief van Prof. ir. W. v. d. Hoek in 1962 is opgezet en die nog steeds wordt uitgebreid. Onder redactionele leiding van Prof. dr. ir. M. P. Koster (TU-Twente) is door Ir. P. C. J. N. Rosielle

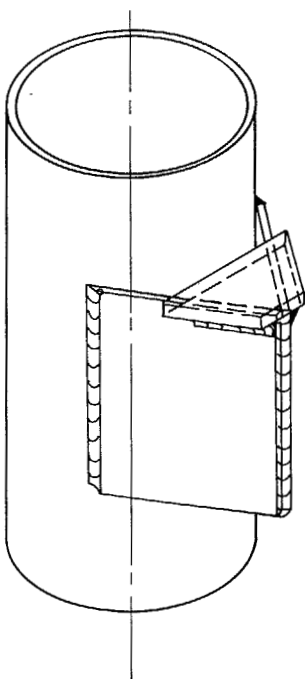
en E. A. G. Reker (TU-Eindhoven) speciaal voor de lezers van *Mikroniek* een selectie gemaakt die in 18 afleveringen wordt gepresenteerd. Bijdragen van lezers als kritiek, suggesties of eigen ervaring worden door de auteurs op prijs gesteld.



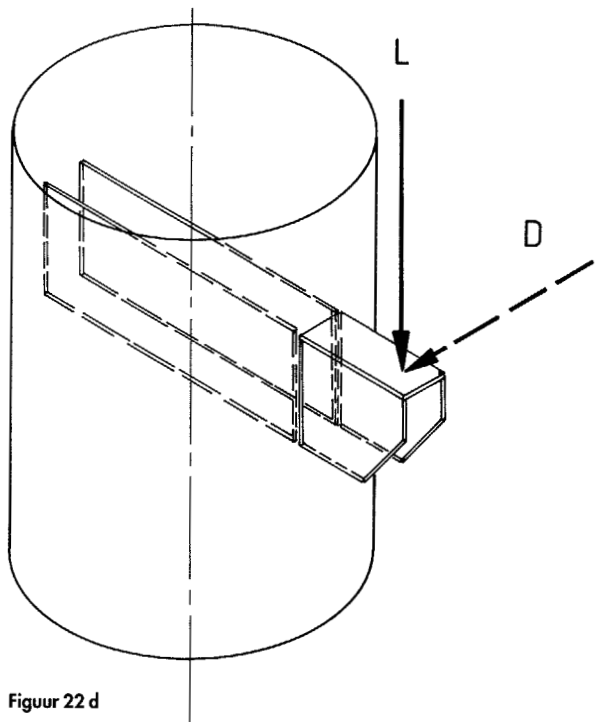
Figuur 22 a



Figuur 22 b



Figuur 22 c



Figuur 22 d